

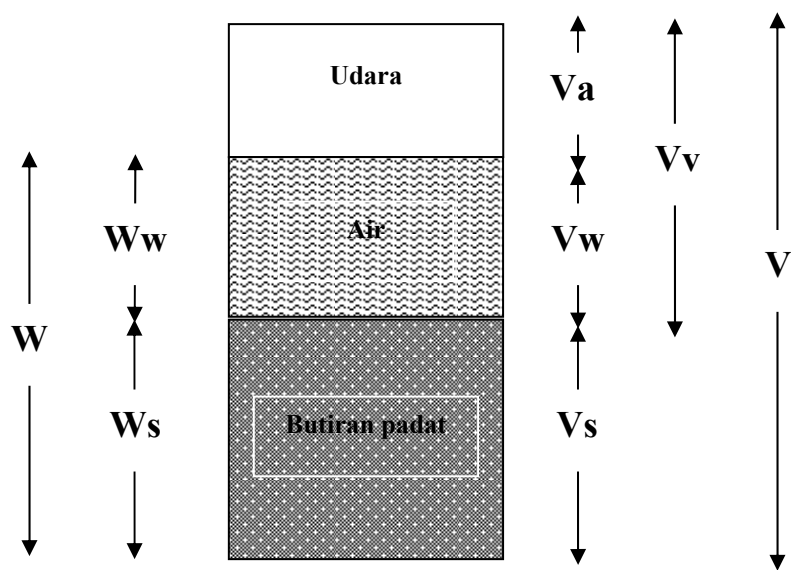
**BAB II**  
**STUDI PUSTAKA**

**2.1. Tanah**

**2.1.1. Komposisi Tanah**

Tanah menurut *Braja M. Das* didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut.

Tanah terdiri dari tiga fase elemen yaitu: butiran padat (*solid*), air dan udara. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



**Gambar 2.1.** Tiga Fase Elemen Tanah

Hubungan volume – berat :

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$$

Dimana :

$V_s$  = Volume butiran padat

$V_v$  = Volume pori

$V_w$  = Volume air dalam pori

$V_a$  = Volume udara dalam pori

Apabila udara dianggap tidak memiliki berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = W_s + W_w$$

Dimana :

$W_s$  = Berat butiran padat

$W_w$  = Berat air

Hubungan yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

1. Angka pori / *void ratio* ( $e$ ), didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat, atau :

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

2. Porositas ( $n$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dengan volume tanah total, yang dinyatakan dalam persen yaitu:

$$n = \frac{V_v}{V}$$

3. Derajat kejenuhan ( $s$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori, yang dinyatakan dalam persen, yaitu:

$$s = \frac{V_w}{V_v}$$

Hubungan antara angka pori dan porositas diturunkan dari persamaan, dengan hasil sebagai berikut:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{n-1}$$

$$n = \frac{e}{1+e}$$

4. Kadar air ( $w$ ), disebut juga sbg *water content* yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dengan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, yaitu:

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

5. Berat volume ( $\gamma$ ) adalah berat tanah per satuan volume

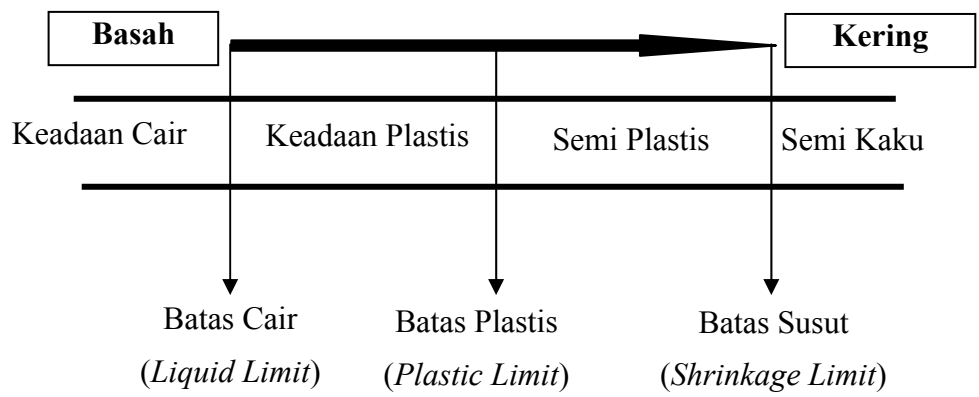
$$\gamma = \frac{w}{v}$$

6. *Specific gravity* ( $G_s$ ) adalah perbandingan antara berat satuan butir dengan berat satuan volume.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

### 2.1.2. Batas Konsistensi Tanah

Batas konsistensi tanah atau yang biasa disebut *Atterberg Limit* merupakan hal yang penting dan selalu dilakukan pada saat penyelidikan. Penyelidikan ini khusus dilakukan pada tanah berbutir halus dan dikarenakan batas-batas ini tidak merupakan sifat-sifat fisika yang jelas maka dipakai cara empiris untuk menentukannya. Kegunaan batas *atterberg* dalam perencanaan adalah memberikan gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk yaitu kekuatan kekuatannya rendah, sedangkan *compressiblity*nya tinggi sehingga sulit dalam hal pemadatannya. Batas-batas konsistensi tanah dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2.2.** Batas-batas konsistensi tanah

1. Batas cair (LL) adalah kadar air tanah antara keadaan cair dan keadaan plastis.
2. Batas plastis ( PL) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis.
3. Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis, dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis, atau :

$$PI=LL-PL$$

Indeks Plastisitas (IP) menunjukkan tingkat keplastisan tanah. Apabila nilai Indeks Plastisitas tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Klasifikasi jenis tanah menurut *Atterberg* berdasarkan nilai Indeks Plastisitas dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini.

**Tabel 2.1.** Hubungan nilai Indeks Plastisitas dengan jenis tanah menurut *Atterberg*

IP	Jenis Tanah	Plastisitas	Kohesi
0	Pasir	Non Plastis	Non Kohesif
< 7	Lanau	Rendah	Agak Kohesif
7- 17	Lempung berlanau	Sedang	Kohesif
> 17	Lempung murni	Tinggi	Kohesif

Sumber : Mekanika Tanah II, Ir. Indrastono DA, M.Ing

2.1.3. Modulus Elastisitas Tanah

Nilai modulus Young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Nilai Modulus elastisitas (Es) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2. Nilai perkiraan Modulus Elastisitas tanah (Bowles, 1977)

Jenis Tanah	Es ( kg/cm <sup>2</sup> )
Lempung	
Sangat lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Keras	70 – 200
Berpasir	300 – 425
Pasir	
Berlanau	50 – 200
Tidak padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
Pasir dan Kerikil	
Padat	800 – 2000
Tidak padat	500 – 1400
Lanau	20 – 200
Loses	150 – 600
Cadas	1400 – 14000

Sumber : Mekanika Tanah II, Tim Dosen Teknik Sipil Undip

2.1.4. Poisson’s Ratio

Nilai *poisson’s ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai *poisson’s ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 2.3 di bawah ini.

**Tabel 2.3.** Hubungan antara jenis tanah dan *Poisson's Ratio*

Jenis Tanah	<i>Poisson's Ratio</i> ( $\mu$ )
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1- 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir padat	0,2 – 0,4
Pasir kasar ( $e= 0,4 – 0,7$ )	0,15
Pasir halus ( $e=0,4 – 0,7$ )	0,25
Batu	0,1 – 0,4
Loses	0,1 – 0,3

Sumber : Mekanika Tanah II, Tim Dosen Teknik Sipil Undip

**2.1.5. Sistem Klasifikasi Tanah**

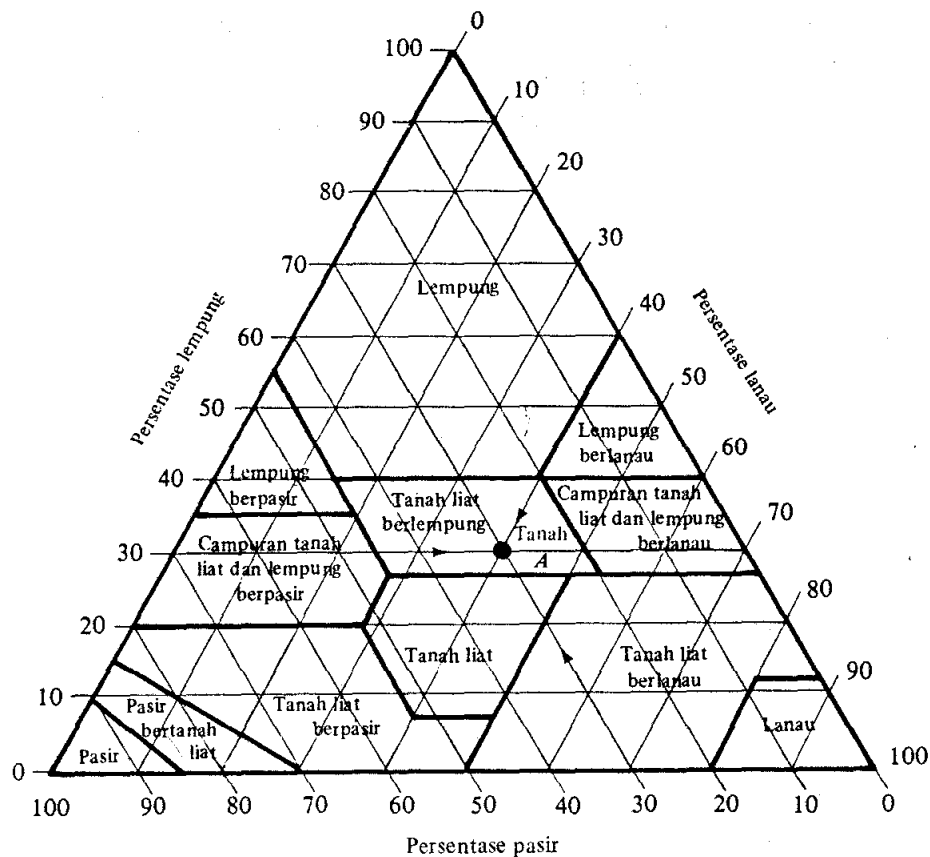
Sistem klasifikasi tanah yang ada mempunyai beberapa versi, hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat-sifat yang bervariasi. Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain:

- 🚧 Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur.
- 🚧 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO
- 🚧 Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

**A. Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur**

Pengaruh daripada ukuran tiap butir tanah yang ada didalam tanah tersebut merupakan pembentuk testur tanah. Tanah tersebut dibagi dalam beberapa kelompok berdasar ukuran butir: pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*). Departernen Pertanian AS telah mengembangkan suatu sistem klasifikasi ukuran butir melalui prosentase pasir, lanau dan lempung yang digambar pada grafik segitiga Gambar 2.3.

Cara ini tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah yang disebabkan adanya kandungan (baik dalam segi jumlah dan jenis) mineral lempung yang terdapat pada tanah. Untuk dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah perlu memperhatikan jumlah dan jenis mineral lempung yang dikandungnya.



Sumber : Mekanika Tanah Jilid 1, Braja M. Das

**Gambar 2.3.** Klasifikasi berdasar tekstur tanah

## B. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Sistem klasifikasi tanah sistem AASHTO pada mulanya dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini mengklasifikasikan tanah kedalam delapan kelompok, A-1 sampai A-7. Setelah diadakan beberapa kali perbaikan, sistem ini dipakai oleh *The American Association of State Highway Officials* (AASHTO) dalam tahun 1945. Bagan pengklasifikasian sistem ini dapat dilihat seperti pada Tabel 2.4. dan Tabel 2.5. di bawah ini.

Pengklasifikasian tanah dilakukan dengan cara memproses dan kiri ke kanan pada bagan tersebut sampai menemukan kelompok pertama yang data pengujian bagi tanah tersebut memenuhinya. Khusus untuk tanah-tanah yang mengandung bahan butir halus diidentifikasi lebih lanjut dengan indeks kelompoknya. Indeks kelompok didefinisikan dengan persamaan dibawah ini.

Tabel 2.4. Klasifikasi tanah sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi ayakan	A-1		A-3		A-2		
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis Ayakan (% Lolos) No. 10 No. 40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks35	Maks35	Maks35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah kerikil pasir	Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau				
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Sumber : MekanikaTanah Jilid 1, Braja M. Das

Tabel 2.5. Klasifikasi tanah sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Lanau-Lempung (lebih dari 35% au kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
Klasifikasi kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Analisis Ayakan (% Lolos) No. 10 No. 40 No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36



Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40				
Batas Cair (LL)	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah Berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

Sumber : MekanikaTanah Jilid 1, Braja M. Das

C. Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh *Cassagrande* dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan ternagn yang dilaksanakan oleh *The Army Corps Engineers*. Sistem ini telah dipakai dengan sedikit modifikasi oleh *U.S. Bureau of Reclamation* dan *U.S Corps of Engineers* dalam tahun 1952. Dan pada tahun 1969 *American Society for Testing and Material* telah menjadikan sistem ini sebagai prosedur standar guna mengklasifikasikan tanah untuk tujuan rekayasa.

Sistem UNIFIED membagi tanah ke dalam dua kelompok utama:

- a. Tanah berbutir kasar → adalah tanah yang lebih dan 50% bahanya tertahan pada ayakan No. 200. Tanah butir kasar terbagi atas kerikil dengan simbol G (*gravel*), dan pasir dengan simbol S (*sand*).
- b. Tanah butir halus → adalah tanah yang lebih dan 50% bahannya lewat pada saringan No. 200. Tanah butir halus terbagi atas lanau dengan simbol M (*silt*), lempung dengan simbol C (*clay*), serta lanau dan lempung organik dengan simbol O, bergantung pada tanah itu terletak pada grafik plastisitas. Tanda L untuk plastisitas rendah dan tanda H untuk plastisitas tinggi.

Adapun simbol simbol lain yang digunakan dalam klasifikasi tanah ini adalah :

- W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik)
- P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)
- L = *low plasticity* (plastisitas rendah) (LL < 50)
- H = *high plasticity* (plastisitas tinggi) ( LL > 50)

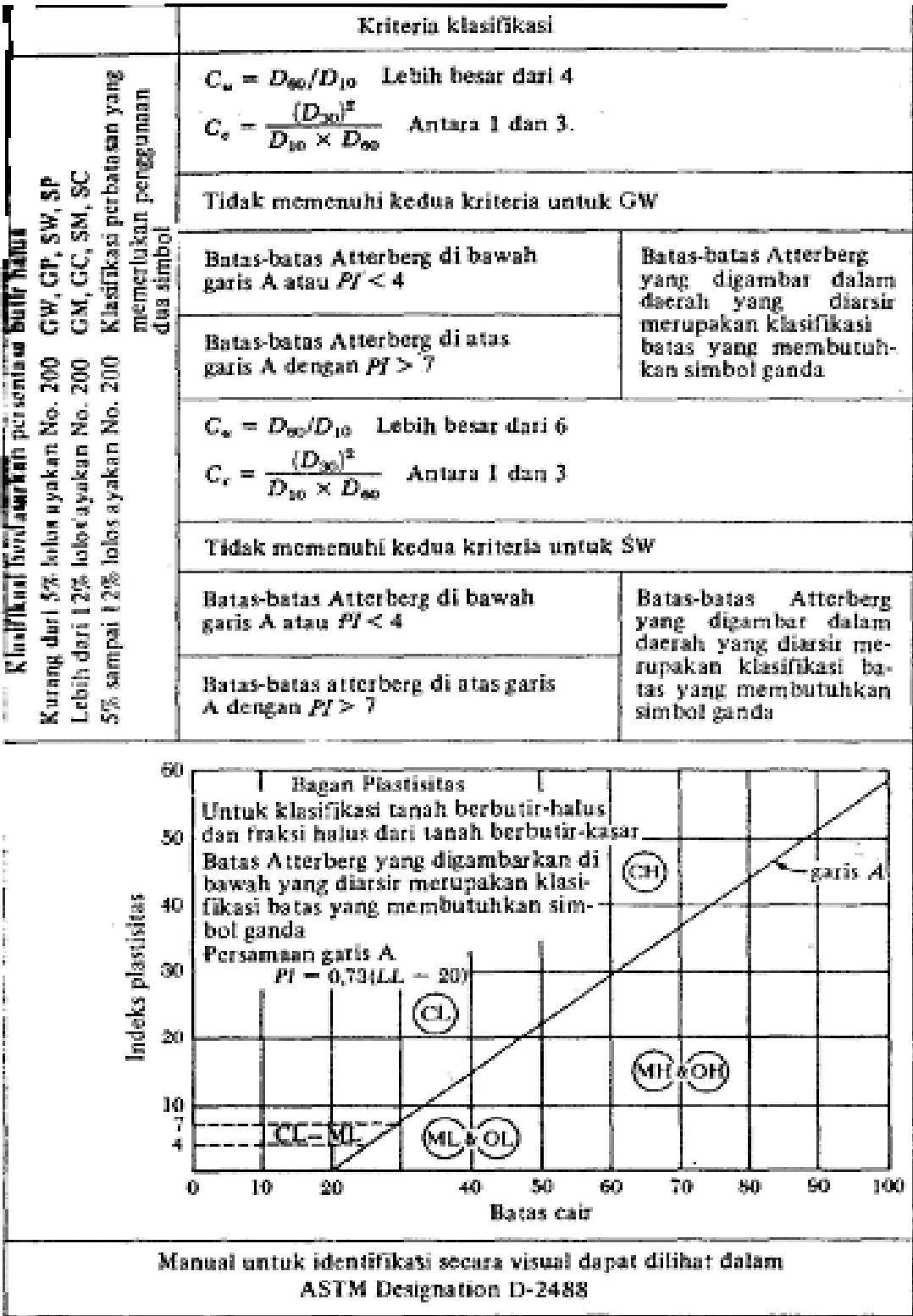
Untuk lebih jelasnya klasifikasi sistem UNIFIED dapat dilihat pada bagan Tabel 2.6. dan Tabel 2.7. dibawah ini.

Tabel 2.6. Klasifikasi tanah sistem UNIFIED

Divisi utama			Simbol kelompok	Nama umum
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200 <sup>4</sup>	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung
Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)	
		OL	Lanau - organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.	
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi			PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi

Sumber : Mekanika Tanah Jilid 1, Braja M. Das

Tabel 2.7. Klasifikasi tanah sistem UNIFIED



Sumber : MekanikaTanah Jilid 1, Braja M. Das

## 2.2. Pondasi

### 2.2.1. Pengertian dan Klasifikasi Pondasi

Pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*Upper Structure/Super Structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya (Pengantar Teknik Fondasi, Ir. Rudy Gunawan, 1999).

Untuk tujuan itu, pondasi bangunan harus diperhitungkan dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban berguna dan gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain, dan tidak boleh terjadi penurunan pondasi setempat ataupun penurunan pondasi yang merata lebih dari batas tertentu.

Kegagalan fungsi pondasi dapat disebabkan karena "*base shear failure*" atau penurunan yang berlebihan, dan sebagai akibatnya dapat timbul kerusakan struktural pada kerangka bangunan atau kerusakan lain seperti tembok retak, lantai ubin pecah dan pintu jendela yang sukar dibuka.

Agar dapat dihindari kegagalan fungsi pondasi, maka pondasi bangunan harus diletakkan pada lapisan tanah yang cukup keras/padat serta kuat mendukung beban bangunan tanpa timbul penurunan yang berlebihan, dan untuk mengetahui letak/kedalaman lapisan tanah padat dengan daya dukung yang cukup besar, maka perlu dilakukan penyelidikan tanah.

Pondasi bangunan biasanya dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Pondasi dalam, jika kedalaman pondasi dari muka tanah adalah lebih dari lima lebar pondasi ( $D > 5B$ )
2. Pondasi dangkal, jika kedalaman dasar pondasi dari muka tanah adalah kurang sama dengan lebar pondasi ( $D \leq B$ ).

#### 2.2.1.1. Pondasi Dalam

Menurut Dr.Ir.L.D.Wesley dalam bukunya Mekanika Tanah 1, pondasi dalam seringkali diidentikkan sebagai pondasi tiang yaitu suatu struktur pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi dengan tumpuan pondasi. Untuk keperluan perencanaan, tiang dapat dibagi menjadi dua golongan :

**a. Tiang yang tertahan pada ujung ( *End Bearing Pile* )**

Tiang semacam ini dimasukkan sampai lapisan tanah keras, sehingga daya dukung tanah untuk pondasi ini lebih ditekankan pada tahanan ujungnya. Tiang tipe ini disebut *end bearing pile* atau *point bearing pile*. Untuk tiang tipe ini harus diperhatikan bahwa ujung tiang harus terletak pada lapisan keras. Lapisan keras ini boleh terdiri dari bahan apapun, meliputi lempung keras sampai batuan keras.

Daya dukung tiang semacam ini dapat dihitung langsung dari nilai konus, yaitu daya dukung kesetimbangan =  $p A$

Persamaan yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah terhadap tiang adalah:

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \times P}{3}$$

dengan:

$Q_{\text{tiang}}$  = Daya dukung keseimbangan tiang ( kg )

$A_{\text{tiang}}$  = Luas permukaan tiang (  $\text{cm}^2$  )

$P$  = Nilai konus hasil sondir (  $\text{kg}/\text{cm}^2$  )

3 = Faktor keamanan

**b. Tiang yang tertahan oleh pelekatan antara tiang dengan tanah ( *Friction Pile* )**

Kadang-kadang ditemukan keadaan tanah dimana lapisan keras sangat dalam sehingga pembuatan tiang sampai lapisan tersebut sukar dilaksanakan. Maka untuk menahan beban yang diterima tiang, mobilisasi tahanan sebagian besar ditimbulkan oleh gesekan antara tiang dengan tanah ( *skin friction* ). Tiang semacam ini disebut *friction pile* atau juga sering disebut sebagai tiang terapung ( *floating pile* ).

Secara teoritis daya dukung tiang ( $Q$ ) ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = c N_C A + k c O L$$

Dimana:  $A$  = luas tiang

$O$  = keliling tiang

$L$  = dalam tiang

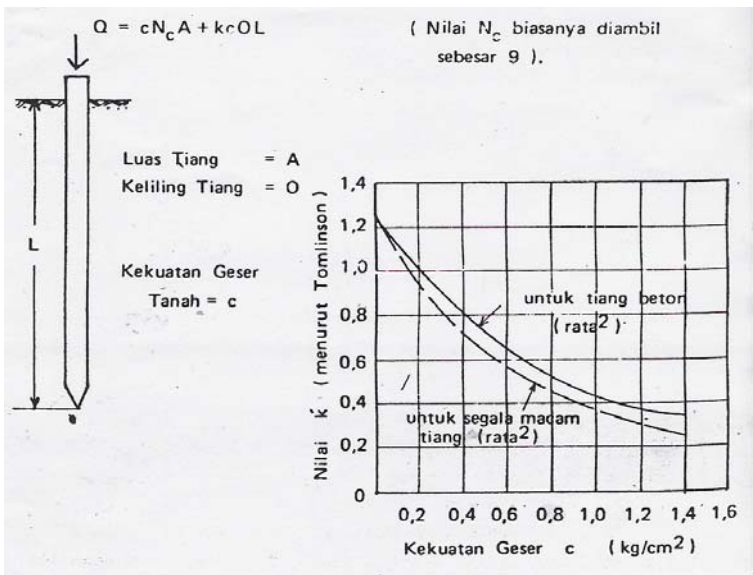
$N_C$  = faktor daya dukung

$k$  = perbandingan antara gaya pelekatan dengan kekuatan geser tanah

$c$  = kekuatan geser tanah ( *undrained* )

Nilai  $N_c$  biasanya diambil sebesar 9, yaitu sama seperti untuk pondasi langsung berbentuk lingkaran yang dalam.

Nilai  $k$  agak sulit ditentukan dengan tepat, dan terpaksa kita pakai cara perkiraan saja untuk menentukannya. Hasil pengukuran di lapangan menunjukkan bahwa makin keras lempung maka semakin kecil nilai  $k$  ini. Menurut *Tomlinson* nilai  $k$  rata-rata adalah seperti terlihat pada gambar 2.4., secara teoritis nilai  $k$  tidak mungkin menjadi lebih besar dari pada satu, yaitu gaya pelekatan pada tanah tidak dapat melebihi kekuatan geser tanah.



**Gambar 2.4.** Daya dukung tiang pancang dalam lapisan lempung

Walaupun demikian ternyata bahwa pada lempung yang sangat lunak, hasil percobaan lapangan menunjukkan nilai lebih dari satu. Hal ini mungkin disebabkan karena pengukuran kekuatan geser tidak tepat, atau karena pemancangan tiang menyebabkan perubahan pada kekuatan tanah disekeliling tiang yang bersangkutan.

Daya dukung tiang kemudian dihitung dengan menganggap bahwa perlawanan pada ujung tiang serta gaya pelekat antara tiang dengan tanah (*end bearing and friction pile*) akan sama seperti nilai yang diukur dengan alat sondir.

Jadi daya dukung keseimbangan (  $Q$  ) diperoleh dengan rumus :

$$Q = \rho A + f O$$

Kemudian daya dukung yang diperbolehkan (  $Q_a$  ) dihitung dengan rumus :

$$Q_a = \frac{\rho A}{3} + \frac{f O}{5}$$

Dimana:

$\rho$  = nilai konus ( $\text{kg/cm}^2$ )

$f$  = jumlah hambatan pelekot/total friction ( $\text{kg/cm}$ )

$A$  = luas tiang ( $\text{cm}^2$ )

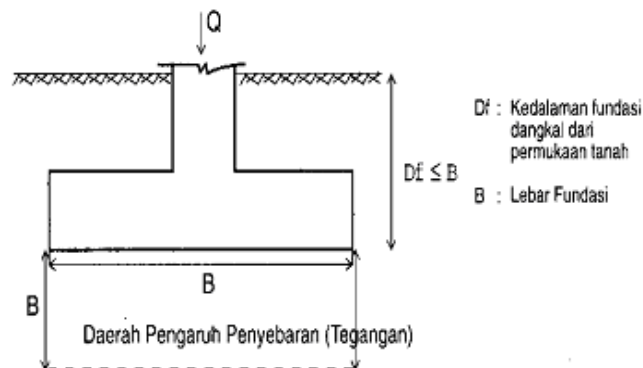
$O$  = keliling tiang ( $\text{cm}$ )

Angka 3 dan 5 adalah faktor keamanan

### 2.2.1.2. Pondasi Dangkal

*Terzaghi* mendefinisikan pondasi dangkal sebagai berikut :

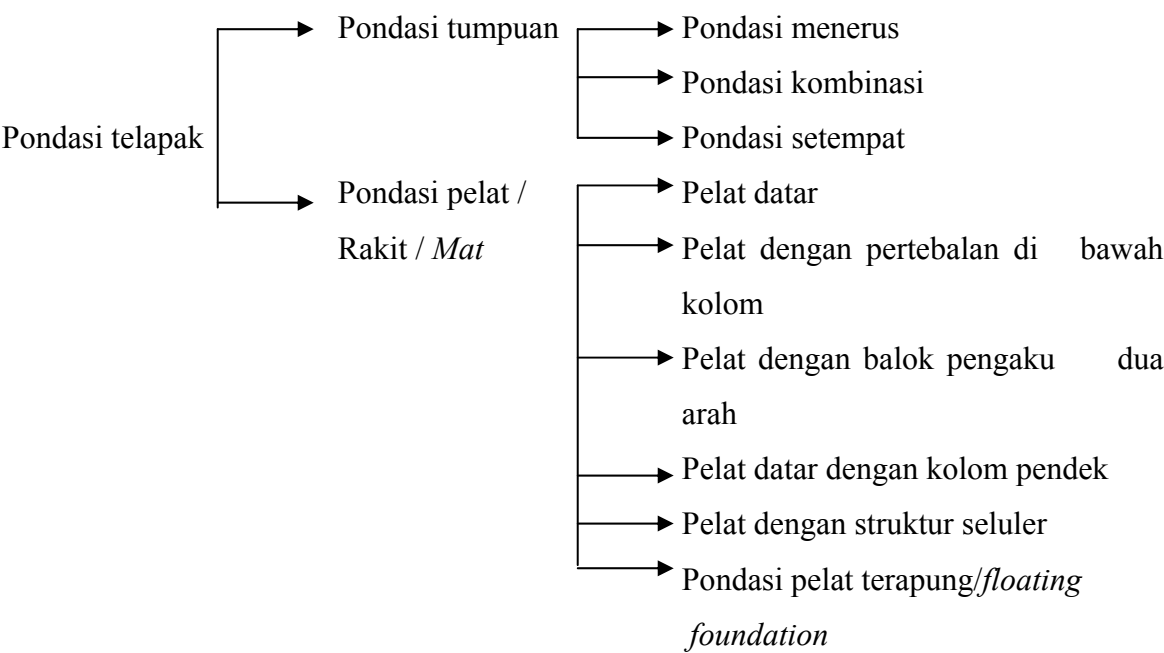
- Apabila kedalaman pondasi lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi, maka pondasi tersebut bisa dikatakan sebagai pondasi dangkal.
- Anggapan bahwa penyebaran tegangan pada struktur pondasi ke tanah dibawahnya yang berupa lapisan penyangga (*bearing stratum*) lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi.



**Gambar 2.5.** Pondasi dangkal

Pada umumnya pondasi dangkal berupa pondasi telapak yaitu pondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah pondasi, bilamana terdapat lapisan tanah yang cukup tebal dan berkualitas baik yang mampu mendukung suatu bangunan pada permukaan tanah.

Pondasi telapak dapat dibedakan sebagai berikut :



Sumber : Rekayasa Fundasi II Fundasi Dangkal dan Fundasi Dalam, penerbit Gunadarma & Rekayasa Pondasi II, Ir. Indrastono Dwi Atmanto M.Eng

**Gambar 2.6.** *Flow chart* klasifikasi pondasi telapak

**2.2.1.2.1. Daya Dukung Pondasi Dangkal**

Untuk pondasi bangunan rumah tinggal dan gedung bertingkat biasa ( *ordinary low-rise buildings* ), karena berat bangunan relatif tidak besar maka biasanya cukup digunakan pondasi dangkal yang disebut pondasi langsung ( *Spread Footing* ), yaitu dengan memperlebar bagian bawah dan kolom atau dinding bangunan, sehingga beban bangunan disebarkan ( *Spread* ) menjadi desakan yang lebih kecil daripada daya dukung tanah yang diizinkan. Dimensi pondasi dihitung berdasarkan beban bangunan dan daya dukung tanah yang diizinkan.

$$A_f = \frac{\text{beban bangunan}}{\text{daya dukung tanah}}$$

$A_f$  = luas pondasi

Kedalaman pondasi langsung makin dangkal akan semakin murah dan semakin mudah pelaksanaannya, tetapi ada beberapa faktor yang harus diperhatikan :

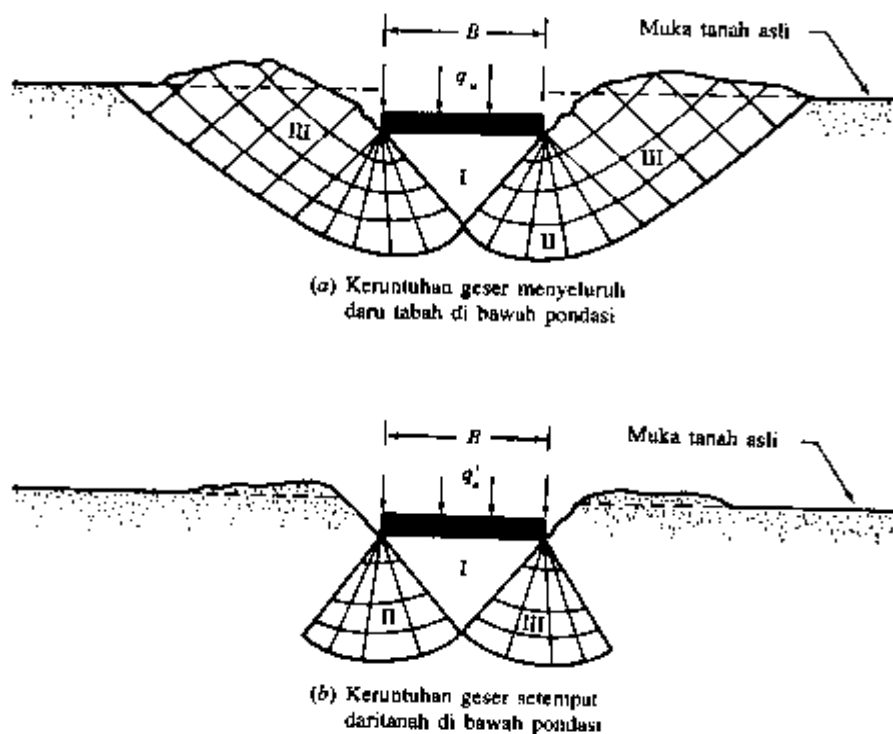
- a. Dasar pondasi harus terletak dibawah lapisan tanah teratas (*top soil*) yang mengandung humus/bahan organik/sisa tumbuh-tumbuhan.
- b. Kedalaman tanah urug (*sanitary land fill*) atau tanah lunak lain (*peat muck*).



- c. Kedalaman tanah yang dipengaruhi retak-retak atau kembang susut.
- d. Kedalaman muka air tanah.
- e. Letak dan kedalaman pondasi bangunan lama yang berdekatan.

Dengan memperhatikan faktor-faktor tersebut, maka kedalaman dasar pondasi langsung di Indonesia biasanya diletakkan antara 0,60 m sampai 3,00 m dibawah muka tanah.

Keruntuhan geser menyeluruh (*general shear failure*) merupakan karakteristik dari telapak pondasi yang sempit dengan kedalaman yang dangkal yang terletak pada tanah-tanah yang relatif padat dan relatif kuat yang relatif tidak kompresibel. Untuk tanah yang relatif lemah dan relatif kompresibel, dengan telapak yang relatif lebar dan relatif dalam, jenis keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan geser setempat (*local shear failure*).



**Gambar 2.7.** (a) Keruntuhan geser menyeluruh; (b) Keruntuhan geser setempat

Adapun persamaan daya dukung pondasi dangkal dengan dua asumsi menurut *Terzaghi*, yaitu :

1. Menganggap bahwa jenis keruntuhan tanah di bawah pondasi adalah keruntuhan geser menyeluruh (*general shear failure*).

Persamaan daya dukung batas yang disarankan oleh *Terzaghi* adalah sebagai berikut :

Pondasi menerus :

$$q_u = c N_c + q N_q + 0,5 B \gamma N_\gamma$$

Pondasi bujur sangkar :

$$q_u = 1,3 c N_c + q N_q + 0,4 B \gamma N_\gamma$$

Pondasi lingkaran :

$$q_u = 1,3 c N_c + q N_q + 0,3 B \gamma N_\gamma$$

Dimana :

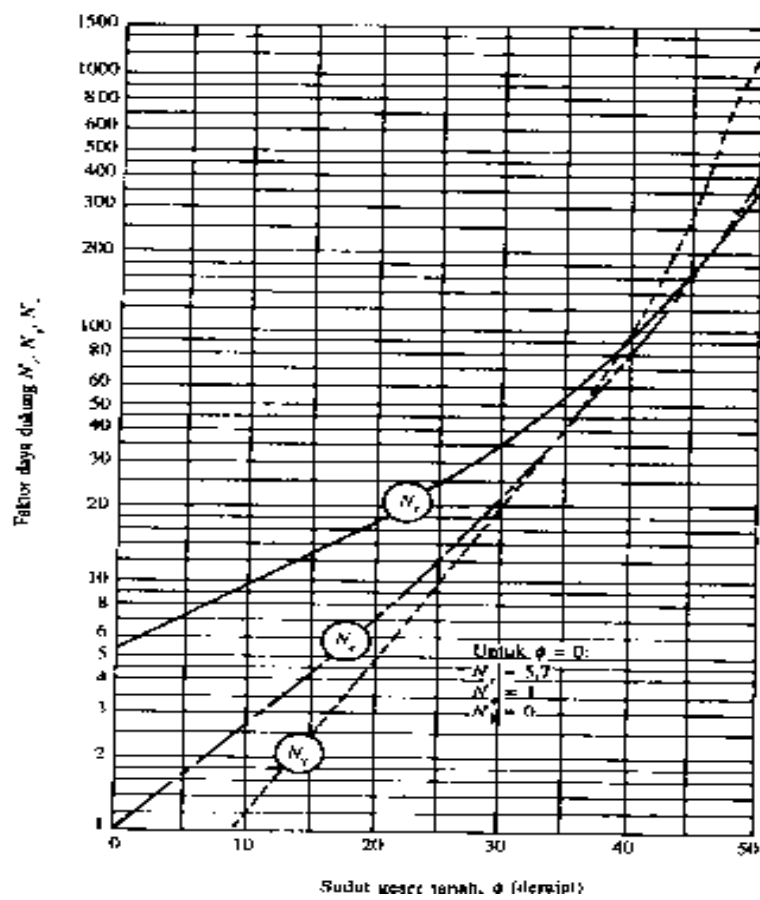
$c$  = Kohesi ( kg / m<sup>2</sup> )

$\varnothing$  = Sudut geser dalam ( ° )

$B$  = Lebar alas pondasi ( m )

$q$  =  $\gamma \cdot D_f$  = *Effective Overburden Pressure*

$N_c, N_q, N_\gamma$  = faktor-faktor kapasitas daya dukung Terzaghi.



**Gambar 2.8.** Faktor daya dukung Terzaghi untuk keruntuhan geser menyeluruh

2. Menganggap bahwa jenis keruntuhan tanah di bawah pondasi adalah keruntuhan geser setempat ( *local shear failure* )

Asumsi ini memberikan anggapan bahwa :  $c' = \frac{2}{3} c$  dan  $\phi' = \tan^{-1} ( \frac{2}{3} \tan \phi )$  sehingga persamaan daya dukung Terzaghi menjadi :

Pondasi menerus :

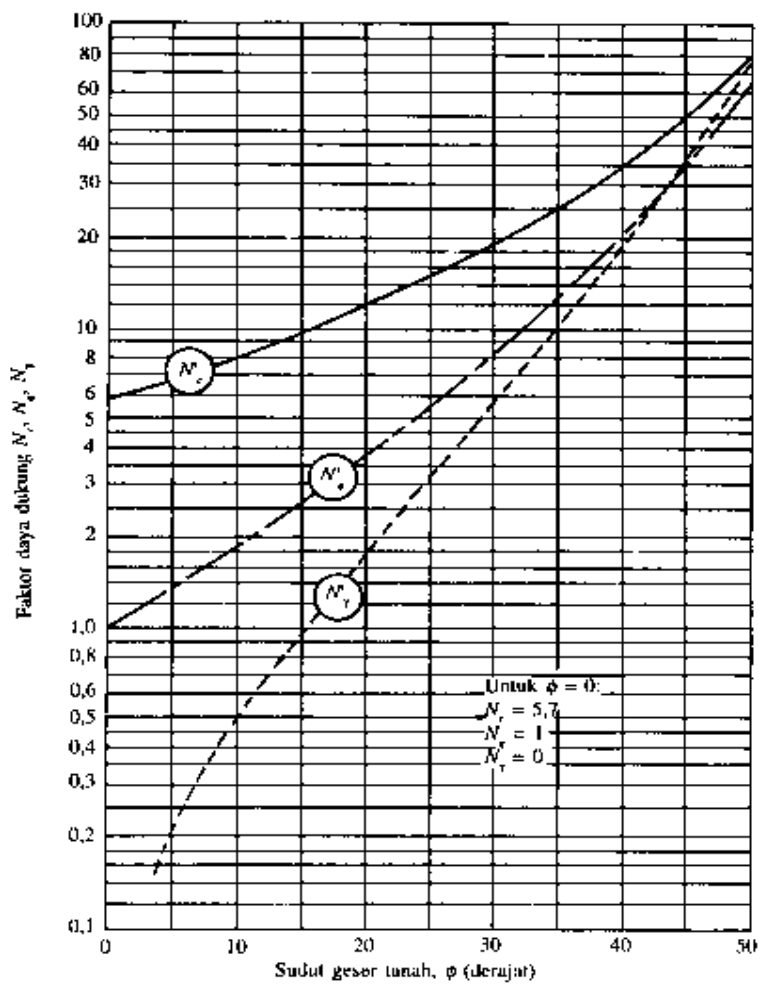
$$q_u' = c' N'_c + q N'_q + 0,5 B \gamma N'_\gamma$$

Pondasi bujur sangkar :

$$q_u' = 1,3 c' N'_c + q N'_q + 0,4 B \gamma$$

Pondasi lingkaran :

$$q_u' = 1,3 c' N'_c + q N'_q + 0,3 B \gamma$$



**Gambar 2.9.** Faktor daya dukung Terzaghi untuk keruntuhan geser setempat

2.3.     Analisa Tegangan Tanah

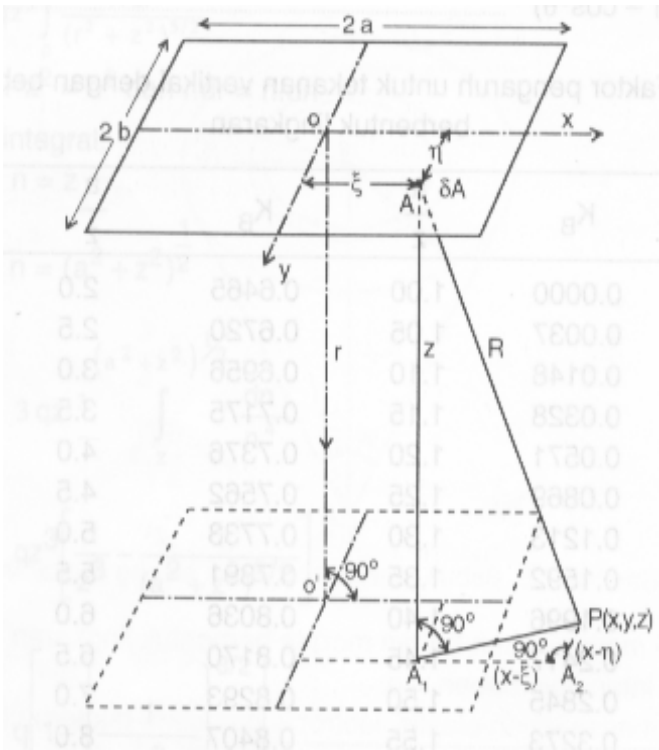
Metode Fadum

Untuk menghitung tegangan vertikal pada kedalaman  $z$  di bawah sebuah sudut bidang persegi dengan dimensi  $mz$  dan  $nz$  yang memikul tekanan merata digunakan persamaan:

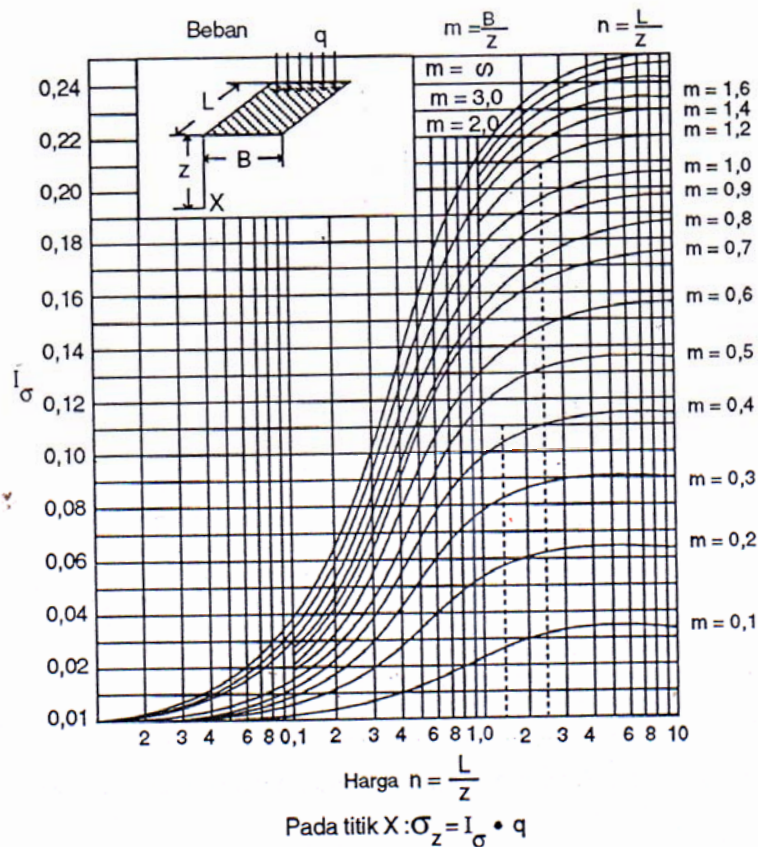
$$\sigma_z = q \cdot I_r$$

dengan,    $m = a/z$  dan  $n = b/z$   
 $q$  = beban merata  
 $I_r$  = faktor pengaruh Fadum (Gambar 2.11)

Nilai faktor pengaruh  $I_r$  dalam  $m$  dan  $n$  diberikan dalam bentuk bagan dari Fadum yang diperlihatkan pada gambar 2.11. Faktor-faktor  $m$  dan  $n$  dapat dipertukarkan. Bagan tersebut dapat juga digunakan untuk bidang jalur yang dianggap sebagai bidang persegi dengan panjang tak terhingga.



Gambar 2.10. Beban merata berbentuk persegi



**Gambar 2.11.** Diagram pengaruh R.E. Fadum (1948)

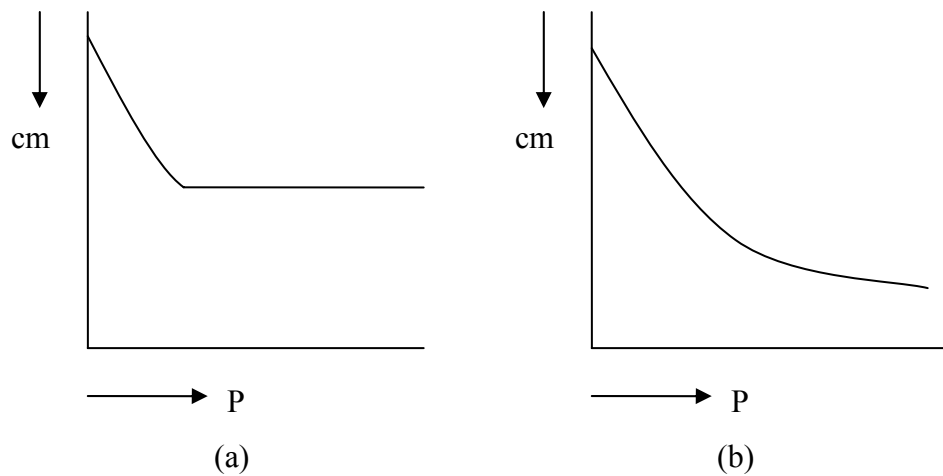
## 2.4. Konsolidasi dan Penurunan

### 2.4.1. Konsolidasi

Konsolidasi dapat diartikan bahwa suatu peristiwa pemampatan (*compression*) karena mendapat beban dari atasnya secara tetap/kontinyu yang diakibatkan oleh suatu konstruksi atau timbunan tanah sehingga terjadi proses pengeluaran air dari pori-porinya. Keadaan ini bisa terjadi apabila tanah dalam keadaan jenuh atau hanya sebagian saja yang jenuh. (Mektan II, Ir.Roeswan Soediro).

Konsolidasi adalah peristiwa keluarnya air pada tanah yang jenuh akibat tambahan beban ( $\Delta P$ ) yang bekerja pada tanah tersebut. Akibat keluarnya air ini maka tanah akan mengalami peristiwa penurunan. Penurunan ini terjadi akibat berkurangnya/berubahnya ruang pori pada tanah. (Mektan II, Ir.Indrastono DA, M. Ing).

Tanah butir kasar (*granular soil*) terutama pasir akan mengalami kejadian konsolidasi yang cepat dan penuh apabila mendapat tekanan (beban) sehingga grafiknya akan menurun tajam, akhirnya berhenti dan lurus horisontal (gambar 2.12).



**Gambar 2.12.** Grafik konsolidasi pada:  
 (a) Tanah butir kasar  
 (b) Tanah butir halus

Pada tanah berbutir halus (*fine granular soil*) terutama pasir akan mengalami penurunan yang lama (lamban) apabila mendapat beban sehingga akan berlangsung terus berkonsolidasi. Oleh karena penyelidikan konsolidasi diutamakan untuk tanah berbutir halus (*silt/lanau, clay/lempung*).

Tingkatan Proses Konsolidasi:

1. Konsolidasi Permulaan (*Initial Consolidation*)

Adalah pengurangan volume tanah yang tidak jenuh, pada waktu mendapat beban yang dipergunakan untuk mengeluarkan udara dari rongga udara.

2. Konsolidasi Pertama (*Primary Consolidation*)

Pengurangan terus terhadap volume tanah, untuk mengeluarkan air dari rongga yang disertai dengan penggantian beban sehingga menimbulkan tekanan air pori.

3. Konsolidasi Kedua (*Secondary Consolidation*)

Pemampatan tanah secara perlahan-lahan sesudah terjadi pengurangan tekanan pori sampai mencapai nol.

Pada kejadian permulaan konsolidasi mempunyai tenggang waktu yang relatif singkat antara konsolidasi pertama mencapai konsolidasi kedua. Dimana konsolidasi kedua adalah lebih memperhatikan kepada butir-butir tanah yang banyak gugusan tanah organik, demikian pula lempung organik dan lanau plastis. Untuk mendapatkan besaran yang dapat dipergunakan untuk menghitung besarnya penurunan (*settlement*), harus dilaksanakan penyelidikan penurunan.

Tes konsolidasi dilakukan untuk mendapatkan :

- a. Hubungan antar waktu dan prosentase konsolidasi
- b. Perubahan rongga udara dari tanah akibat penambahan beban
- c. Data *permeability* tanah yang merupakan hal penting di dalam mempertahankan stabilitas tanah

Di dalam penyelidikan konsolidasi :

- a. Besarnya *settlement* bergantung dari *compressibility* tanah tersebut
- b. Kecepatan *settlement* tergantung *permeability* dan *compressibility* dari tanah tersebut

Akibat penurunan pada tanah dibawah bangunan maka dalam bidang teknik sipil perlu dicari besaran-besaran :

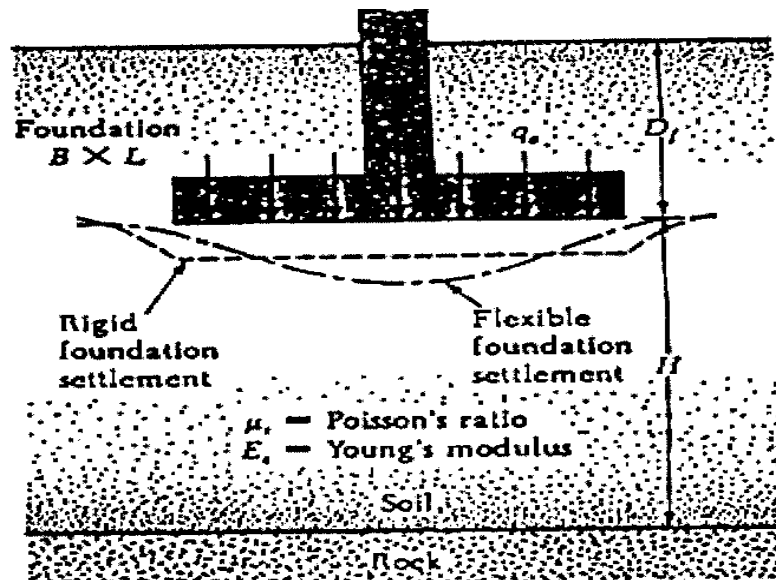
1. Besar penurunan yang terjadi (  $\delta$  )
2. Kecepatan penurunan (  $v$  )
3. Lamanya waktu yang terjadi (  $t$  )
4. Derajat konsolidasi (  $u$  )

#### **2.4.2. Penurunan**

Istilah penurunan menunjukkan tenggelamnya suatu bangunan akibat kompresi dan deformasi lapisan tanah dibawah bangunan. Penurunan (*settlement*) akan terjadi jika suatu lapisan tanah mengalami pembebanan. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*Immediate Settlement*) dan penurunan konsolidasi (*Consolidation Settlement*). Secara umum penurunan pada tanah akibat beban yang bekerja pada pondasi dapat diklasifikasikan dalam dua jenis penurunan, yaitu :

##### **2.4.2.1. Penurunan Seketika / *Immediately Settlement***

Penurunan seketika adalah penurunan yang langsung terjadi begitu pembebanan bekerja atau dilaksanakan, biasanya terjadi berkisar antara 0 – 7 hari dan terjadi pada tanah lanau, pasir dan tanah liat yang mempunyai derajat kejenuhan (  $S_r \%$  )  $< 90\%$ .



Sumber : Rekayasa Pondasi II, Penerbit Gunadarma hal 48

**Gambar 2.13.** Penurunan seketika

Rumus penurunan seketika / *Immediately Settlement* dikembangkan berdasarkan teori elastis dari *Timoshenko* dan *Goodier* ( 1951 ), sebagai berikut :

$$S_i = q \cdot B \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} \cdot I_w$$

Dimana:

$q$  = besarnya tegangan kontak

$B$  = lebar pondasi

$I_w$  = faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (tabel 2.8.)

$\mu$  = angka *poisson's ratio* (tabel 2.9.)

$E_s$  = sifat elastisitas tanah (tabel 2.10.)

$$q_{ekstrim} = R/A \pm My/Wy + Mx/Wx + \gamma \times d$$

Dimana:

$q_{ekstrim}$  = besarnya tegangan

$R = \sum P$  = resultante beban vertikal

$A = B \times L$  = luas bidang pondasi



$M_y = \sum P.x$  = momen total sejajar respektif terhadap sumbu y  
 $M_x = \sum P.y$  = momen total sejajar respektif terhadap sumbu x  
 $W_y = 1/6 B L^3$  = momen inersia respektif terhadap sumbu y  
 $W_x = 1/6 L B^3$  = momen inersia respektif terhadap sumbu x  
 $\gamma$  = berat isi beton  
d = tebal plat pondasi

Dalam perhitungan penurunan seketika / *Immediately Settlement* diperlukan faktor pengaruh bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (  $I_w$  ), angka *poisson ratio* (  $\mu$  ), dan sifat elastisitas tanah (  $E_s$  ), yang dapat dilihat pada Tabel 2.8., Tabel 2.9., dan Tabel 2.10.

**Tabel 2.8.** Faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk pondasi dan kekakuan pondasi ( $I_w$ )

	Flexible			Rigid	
	Shape	Center	Average	$I_w$	$I_m$
Circle	1.0	0.04	0.85	0.88	6.0
Square	1.12	0.56	0.95	0.82	3.7
Rectangle :					
L/B = 0.2	-	-	-	-	2.29
0.5	-	-	-	-	3.33
1.5	1.36	0.68	1.15	1.06	4.12
2.0	1.53	0.77	1.30	1.20	4.38
5.0	2.10	1.05	1.83	1.70	4.82
10.0	2.54	1.27	2.25	2.10	4.93
100.0	4.01	2.00	3.69	3.40	5.00

Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma

**Tabel 2.9.** Angka *Poisson’s Ratio* ( $\mu$ ) menurut jenis tanah

Type of soil	$\mu$
Clay saturated	0.4 – 0.5
Clay unsaturated	0.1 – 0.3
Sandy clay	0.2 – 0.3
Silt	0.3 – 0.35
Sand (dense)	0.2 – 0.4
Coarse (void ratio = 0.4 - 0.7 )	0.15
Fined - grained ( void ratio = 0.4 – 0.7 )	0.25
Rock	0.1 – 0.4 (depends somewhat on type of rock )
Loess	0.1 – 0.3
Ice	0.36
Conerate	0.15

Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma

**Tabel 2.10.** Nilai Sifat Elastisitas Tanah (  $E_s$  ) menurut jenis tanah

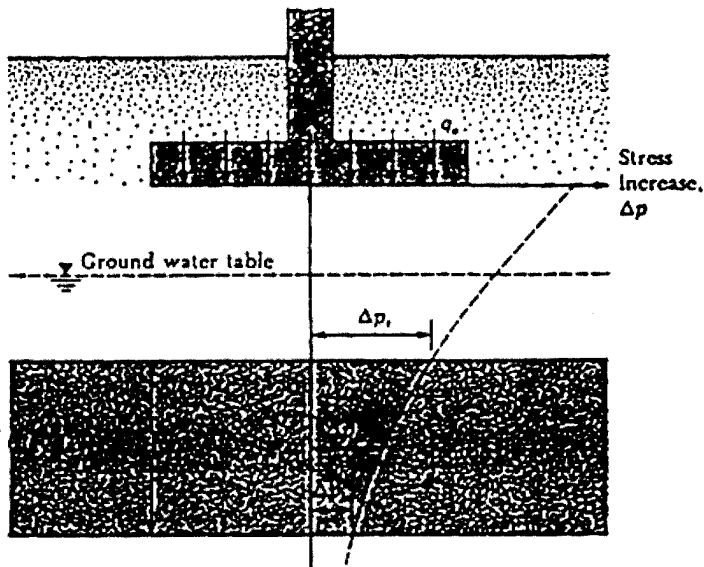
	$E_s$	
	ksf	MPa
Clay		
Very soft	50 – 250	2 – 15
Soft	100 – 500	5 – 25
Medium	300 – 1000	15 – 50
Hard	1000 – 2000	50 – 100
Sandy	500 – 5000	25 – 250
Glacial till		
Loose	200 – 3200	10 – 153
Dense	3000 – 15000	144 – 720
Very dense	10000 – 30000	478 – 1440
Loess	300 – 1200	14 – 57
Sand		
Silty	150 – 450	7 – 21
Loose	200 – 500	10 – 24
Dense	1000 – 1700	48 – 81
Sand and Gravel		
Loose	1000 – 3000	48 – 144
Dense	2000 – 4000	96 – 192
Shale	3000 – 3000000	144 – 14400
Silt	40 - 400	2 - 20

Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma

**2.4.2.2. Penurunan Konsolidasi / Consolidation Settlement**

Penurunan konsolidasi adalah penurunan yang diakibatkan keluarnya air dalam pori tanah akibat beban yang bekerja pada pondasi yang besarnya ditentukan oleh waktu pembebanan dan terjadi pada tanah jenuh ( $S_r = 100\%$  ) atau yang mendekati jenuh ( $S_r = 90\% - 100\%$ ) atau pada tanah berbutir halus, yang mempunyai harga  $K \leq 10^{-6}$  m/s.

Terzaghi (1925) memperkenalkan teori konsolidasi satu arah ( *one way* ) yang pertama kali untuk tanah lempung jenuh air. Teori ini menyajikan cara penentuan distribusi kelebihan tekanan hidrostatik dalam lapisan yang sedang mengalami konsolidasi pada sembarang waktu setelah bekerjanya beban. Beberapa asumsi dasar dalam analisis konsolidasi satu arah antara lain : tanah bersifat homogen, derajat kejenuhan tanah 100 % (jenuh sempurna), partikel/butiran tanah dan air bersifat inkompresibel (tak termampatkan), arah pemampatan dan aliran air pori terjadi hanya dalam arah vertikal. Ketebalan lapisan tanah yang diperhitungkan adalah setebal lapisan tanah lempung jenuh air yang ditinjau.



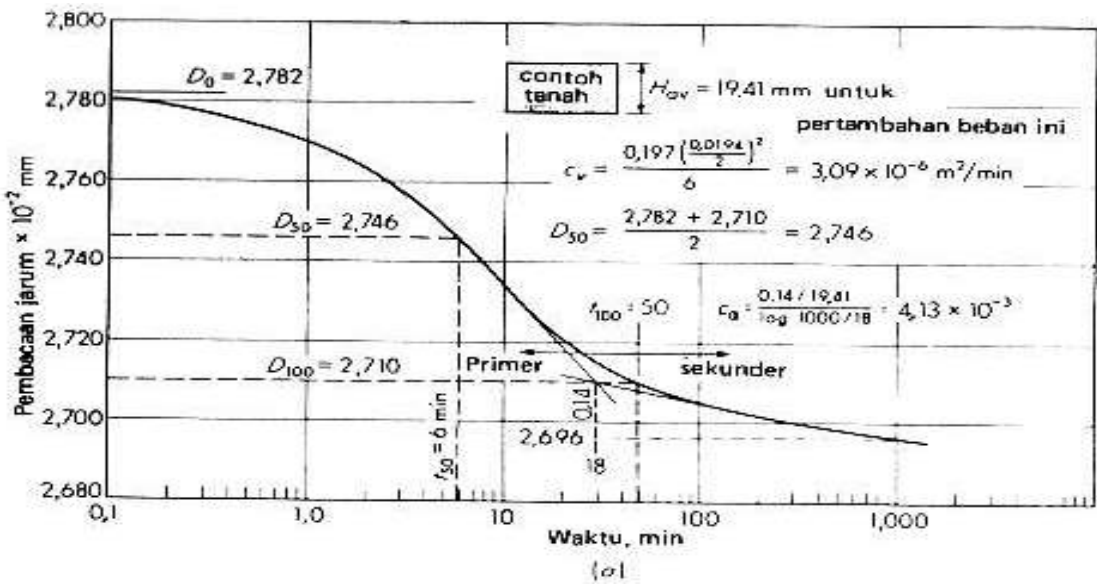
Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma

Gambar 2.14. Penurunan konsolidasi

Penurunan konsolidasi yang terjadi dibagi dua, yaitu :

a. Penurunan konsolidasi primer

Penurunan konsolidasi primer terjadi ketika gradien tekanan pori berlebihan akibat perubahan tegangan didalam stratum yang ditinjau. Pada akhir konsolidasi primer kelebihan tekanan pori mendekati nol dan perubahan tegangan telah beralih dari keadaan total ke keadaan efektif. Penurunan tambahan ini disebut penurunan sekunder yang terus berlanjut untuk suatu waktu tertentu, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.15.



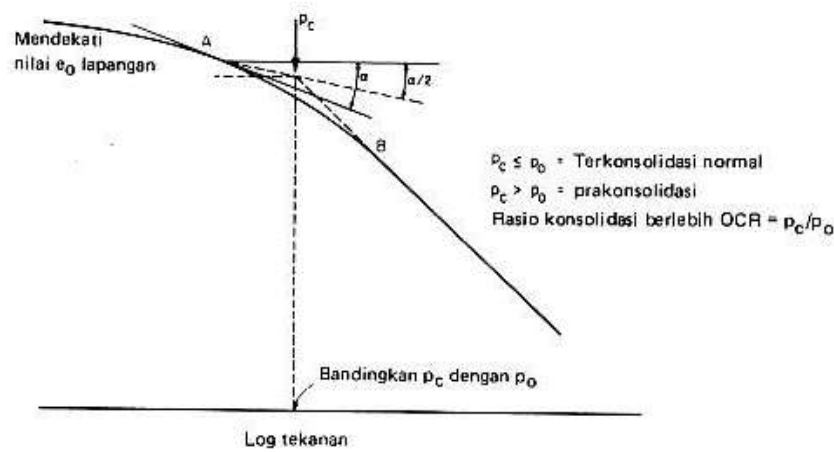
Sumber : Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah ( Mekanika Tanah ) Edisi kedua, Joseph E. Bowles

Gambar 2.15. Grafik penyajian penurunan konsolidasi primer dan sekunder

Penurunan konsolidasi primer dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu :

**Tanah normal konsolidasi**

Apabila lengkungan bertambah secara tajam (patah) mendekati tekanan tanah efektif akibat beban yang berada diatasnya (Po), maka dapat dianggap bahwa tanah tersebut terkonsolidasi normal. Artinya struktur tanah terbentuk akibat akumulasi tekanan pada saat deposit yang ada bertambah dalam. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat ada gambar 2.16. Tanah terkonsolidasi normal adalah tanah yang tidak pernah menderita beban tegangan efektif yang lebih besar dari tegangan yang ada sekarang.



Sumber : Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah ( Mekanika Tanah ) Jilid 2, Joseph E. Bowles

**Gambar 2.16.** Metode *Cassagrande* untuk menentukan jenis konsolidasi

Adapun syarat yang harus diperhatikan dalam perhitungan penurunan/ *settlement* pada kondisi tanah normal konsolidasi, adalah sebagai berikut :

$P_c \leq P_o$

$$S_{cp} = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \left( \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right)$$

$$T_v = \frac{C_v}{H^2} \cdot t_{\text{primer}}$$

$$T_v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot U^2$$

Dimana:

- Scp = penurunan / *Settlement* ( cm )
- Cc = indeks kompresi tanah

$e_o$	=	angka pori
$T_v = t_{total}$	=	waktu perencanaan
$t_{primer}$	=	waktu terjadinya penurunan konsolidasi
$H$	=	tebal lapisan tanah
$C_v$	=	koefisien konsolidasi ( $cm^2/detik$ )
$U$	=	derajat konsolidasi
$\Delta P$	=	tambahan tegangan
$P_o$	=	<i>effective overburden layer</i>
$P_c$	=	<i>preconsolidation pressure</i>

#### Tanah *over* konsolidasi

Sedangkan apabila patahan yang terjadi pada tekanan yang lebih besar dari  $P_o$ , maka dapat dianggap tanah tersebut mengalami *over* konsolidasi. Tanah *over* konsolidasi adalah tanah yang pernah menderita beban tekanan efektif yang lebih besar daripada tegangan yang sekarang. Adapun syarat yang harus diperhatikan dalam perhitungan penurunan / *settlement* pada kondisi tanah *over* konsolidasi, adalah sebagai berikut :

$$P_c > P_o$$

$$S_{cp} = \frac{C_r \cdot H}{1 + e_o} \left( \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right)$$

Dimana:

$\Delta P$  = tambahan tegangan

$P_o$  = *effective overburden layer*

$C_r$  = *compression index* pada kondisi *over* konsolidasi

$H$  = tinggi lapisan yang mengalami konsolidasi

$P_c$  = *preconsolidation pressure*

#### **b. Penurunan konsolidasi sekunder**

Penurunan sekunder terjadi setelah penurunan konsolidasi terjadi. Penurunan sekunder didefinisikan sebagai tekanan yang terjadi pada saat terdapatnya tekanan pori yang berlebih pada lapisan yang ditinjau (atau pada contoh di laboratorium). Pada tanah yang jenuh tidak akan mungkin terdapat pengurangan angka pori tanpa terbentuknya sejumlah tekanan pori yang berlebih. Tingkat penurunan sekunder biasanya sedemikian sangat rendah sehingga tekanan pori yang berlebih tidak dapat diukur.

Tekanan sekunder merupakan penyesuaian kerangka tanah yang berlangsung untuk beberapa saat lamanya sesudah tekanan pori yang berlebih menghilang. Karena itu, penurunan sekunder tergantung pada waktu dan dapat berlangsung untuk waktu yang lama bahkan sampai ratusan tahun.

Penurunan akibat konsolidasi sekunder dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_{cs} = \frac{C_{\alpha} \cdot H}{1 + e_o} \left( \log \frac{t_{total} + t_{primer}}{t_{primer}} \right)$$

Dimana:

$S_{cs}$  = penurunan / *Settlement* ( cm )

$e_o$  = angka pori

$H$  = tebal lapisan tanah

$C_{\alpha}$  = indeks pemampatan sekunder

Jadi penurunan total ( $S_t$ ) yang terjadi adalah :

$$S_t = S_i + S_{cp} + S_{cs}$$

Dimana:

$S_t$  = penurunan total

$S_i$  = penurunan seketika

$S_{cp}$  = penurunan konsolidasi primer

$S_{cs}$  = penurunan konsolidasi sekunder

## 2.5. Perbaikan Tanah Dengan Metode *Grouting*

*Grouting* adalah salah satu cara untuk memperbaiki tanah pondasi yang lulus air dan bertujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah pondasi. Proses tersebut terdiri dari penyuntikan suatu cairan yang dikenal dengan sebutan grout ke dalam pori-pori tanah. *Grout* tersebut secara berangsur-angsur akan mengeras, sehingga dapat mencegah atau memperkecil rembesan air. Cairan yang digunakan untuk *grouting* meliputi campuran semen dan air, suspensi lempung, larutan kimia, seperti sodium silikat atau damar sintetis dan emulsi bitumen. Penyuntikan (*injection*) biasanya dilakukan ke dalam suatu pipa yang dimasukkan ke dalam tanah atau ditempatkan ke dalam lubang bor dan di tahan dengan sebuah selubung.

Macam-macam *grouting*:

1. *Grouting* tirai:  
Dimaksudkan untuk membuat tirai kedap air agar rembesan dapat memenuhi kriteria desain.
2. *Grouting* konsolidasi:  
Dimaksudkan untuk memperbesar daya dukung tanah/batuan pondasi.
3. *Grouting* kontak:  
Dimaksudkan untuk memperkuat hubungan antara beton dan tanah/batuan di sekitarnya.
4. *Filling grouting*:  
Dimaksudkan untuk mengisi ruangan yang kosong antara dinding beton dengan dinding galian. Biasanya dilaksanakan pada pembuatan terowongan.
5. *Blanket grouting*:  
Untuk membuat lapisan tanah kedap air sehingga dapat berfungsi seperti lantai kedap air.

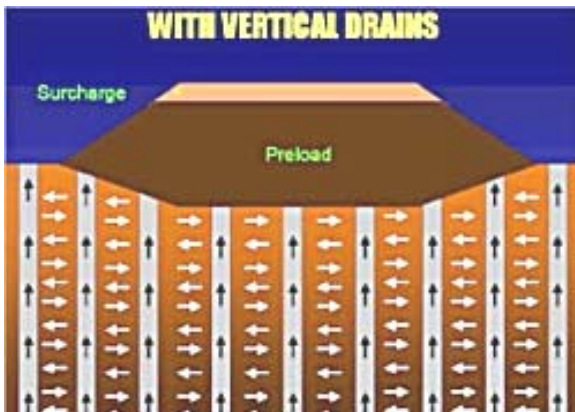
## **2.6. Perbaikan Tanah Menggunakan *Vertical Drain***

Lapisan tanah lunak adalah lapisan tanah yang mengandung lempung (*clay*) atau lanau (*silt*) yang mempunyai harga pengujian standar (*Standard Penetration Test-N*) lebih kecil dari 4 atau tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi dan lapisan tanah berpasir yang dalam keadaan lepas mempunyai harga *N* yang kurang dari 10. Sifat lapisan tanah yang lunak antara lain gaya gesernya kecil, kemampatan besar dan koefisien permealabilitasnya kecil. Jadi, bila pembebanan konstruksi melampaui daya dukung kritis, maka akan terjadi kerusakan tanah pondasi. Untuk mengantisipasi kerusakan yang lebih besar dari bangunan, diperlukan usaha perbaikan tanah pondasi pada tanah lunak tersebut. Salah satu usaha perbaikan tanah yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan *vertical drain*.

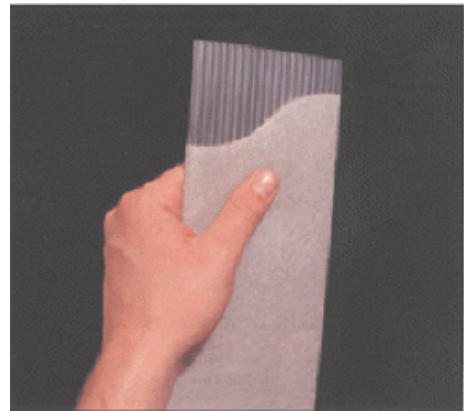
Penggunaan *vertical drain* dimaksudkan untuk meningkatkan laju konsolidasi tanah lempung jenuh air dengan permealabilitas (kemampuan untuk dapat ditembus air) rendah yang diperoleh melalui lintasan pengaliran air dalam lempung keatas (permukaan tanah). Dengan menggunakan konstruksi *vertical drain*, volume air pada tanah lempung lunak dapat dialirkan secara horisontal/radial dan melalui konstruksi *vertical drain* dengan penambahan beban (*pre-loading*), pada gambar 2.17, maka air pori dapat mengalir keatas menyebabkan disipasi air pori lebih cepat.

Jenis *Vertical Drain* antara lain:

- a. *Vertical Sand Drain*, yaitu dengan membuat lubang bor pada lapisan lempung dan diisi dengan pasir dengan gradasi tertentu
- b. *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*, berupa *band-shaped (rectangular cross section)* yang terdiri dari *synthetic geotextile jacket* disekeliling *plastic core* (gambar 2.18). Jaket tersebut umumnya dibuat dari bahan *non-woven poly-ester* atau *polypropelene geotextile*.



**Gambar 2.17.** *Vertical Drain* dengan *preloading* dan *surcharge*



**Gambar 2.18.** *Prefabricated Vertical Drain*

### 2.6.1. Teori *Vertical Drain*

Pada pemasangan *vertical drain* maka pengaliran horisontal/radial yang sangat dominan, sedangkan data tanah yang ada biasanya hanya koefisien konsolidasi arah vertikal ( $C_v$ ). Dari hasil penelitian diketahui, bahwa rasio koefisien konsolidasi arah horisontal ( $C_h$ ) dengan arah vertikal adalah sebagai berikut :

$$C_h = (1 - 2) C_v$$

Dengan semakin besar rasio tersebut, maka pemasangan *vertical drain* dapat semakin bermanfaat, seperti hasil penelitian yang dilakukan oleh : "Jamiolkowski dkk. 1983", rasio konsolidasi arah horisontal dengan menggunakan konstruksi PVD didapat :

$$C_h = (2 - 4) C_v$$

Dengan memperhitungkan pengaruh *smear zone* nilai  $C_h$  dapat diambil :

$$C_h = (1,2 - 3) C_v$$



Derajat konsolidasi tanah lempung jenuh tanpa *vertical fibre drain* :

$$T_v = t \cdot C_v / H_d^2$$

$$U_v = f(T_v)$$

$$U_v = 100 \cdot \sqrt{(4 T_v / \pi)}$$

Dimana :

- $U_v$  = derajat konsolidasi arah vertikal
- $T_v$  = *time factor*
- $t$  = waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi
- $C_v$  = koefisien konsolidasi arah vertikal
- $H_d$  = tebal tanah lunak yang terkonsolidasi

Derajat konsolidasi tanah lempung jenuh dengan *vertical fibre drain* :

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$$

$$U_h = f(T_h)$$

$$T_h = C_h \cdot t / D^2 \dots\dots\dots 1$$

$$T_h = 1/8 (F_n + F_s + F_r) \ln \{ 1 / (1 - U_h) \}$$

Nilai  $T_h$  diusulkan oleh "Baron" sebagai berikut :

$$T_h = 1/8 F_n \ln \{ 1 / (1 - U_h) \} \dots\dots\dots 2$$

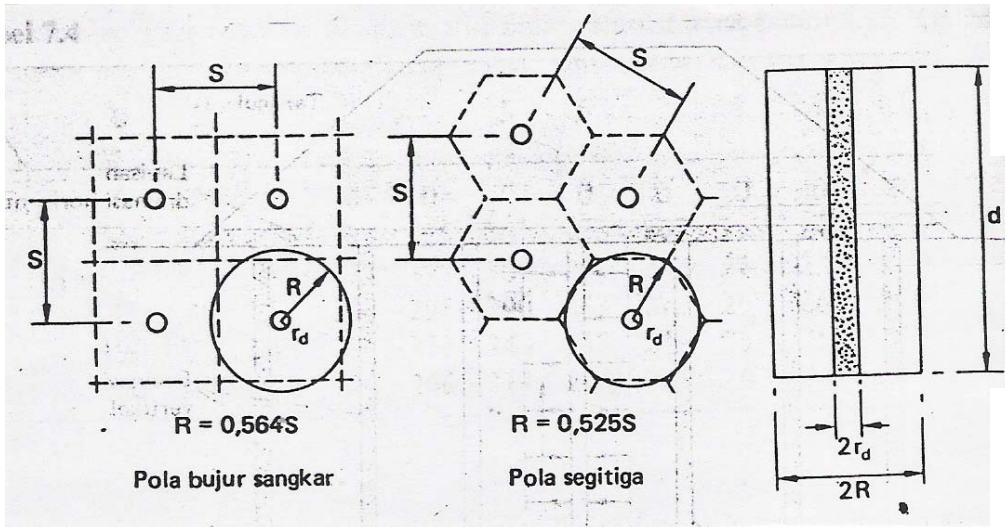
$$F_n = \ln (D / d_w - 0,75)$$

$$D_w = (a + b) / 2$$

Dimana :

- $U_h$  = derajat konsolidasi rata-rata arah horisontal/radial akibat *vertical drain*
- $F_n$  = faktor jarak *vertical drain*
- $d_w$  = keliling bahan *vertical drain*
- $D$  = Diameter ekivalen *vertical drain*

Diameter ekivalen *vertical drain* ( $D$ ) ditentukan oleh formasi jarak titik *vertical fibre drain*, ada dua macam susunan *vertical drain* yaitu : jaringan bujur sangkar dan jaringan segitiga (gambar 2.19)



Sumber : Mekanika Tanah, RF. Craig

**Gambar 2.19.** Pola-pola *vertical drain*

Persamaan 1 dan 2 dapat disubstitusikan sebagai berikut :

$$(t \times Ch) / D^2 = \{ \ln (D / dw) - 0,75 \} \ln \{ 1 / (1 - U_h) \} \dots\dots\dots 3$$

Dengan cara coba-coba nilai D maka dapat ditentukan persamaan 1 = persamaan 2, dari hasil ini jarak *vertical fibre drain* dapat ditentukan.

Besarnya penurunan total (S tot):

$$Stot = \frac{Cc \times H}{1 + eo} \log \frac{Po + \Delta P}{Po}$$

## 2.7. PLAXIS V. 7.2

PLAXIS (*Finite Element Code For Soil and Rock Analysis*) adalah program pemodelan dan *postprocessing* metode elemen hingga yang mampu melakukan analisa masalah-masalah geoteknik dalam perencanaan sipil.. PLAXIS V. 7.2 menyediakan berbagai analisa teknik tentang *displacement*, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, dan lain-lain. Program ini dirancang untuk dapat melakukan pembuatan geometri yang akan dianalisa.

Parameter tanah yang digunakan dalam program PLAXIS diantaranya yaitu :

- Berat Volume Tanah Kering / *dry soil weight* ( $\gamma$  dry)
- Berat Volume Tanah Basah / *wet soil weight* ( $\gamma$  wet)
- Permeabilitas Arah Horizontal / *horisontal permeability* ( $k_x$ )
- Permeabilitas Arah Vertikal / *vertical permeability* ( $k_y$ )

- e) Modulus Young / *Young's Modulus* ( $E_{ref}$ ),
- f) *Poisson's Ratio* ( $\nu$ )
- g) Kohesi / *Cohesion* ( $c$ )
- h) Sudut Geser / *Friction Angle* ( $\phi$ )
- i) Sudut Dilatasi / *Dilatancy Angle* ( $\psi$ )

Program komputer ini menggunakan elemen segitiga dengan pilihan 6 nodal atau 15 nodal. Pada analisis ini digunakan elemen segitiga dengan 6 nodal agar dapat dilakukan interpolasi dan peralihan nodal dengan menggunakan turunan berderajat dua. Dengan menggunakan elemen ini akurasi hasil analisis sudah cukup teliti dan dapat diandalkan.

PLAXIS terdiri dari 4 program :

1. *Input* program
2. *Calculation* program
3. *Output* program
4. *Curve* program

Adapun prosedur perhitungan dengan menggunakan program Plaxis adalah sebagai berikut :

- a. Mengisi menu *General settings* ( *Project* dan *Dimension* )

*Project* :

- Model = *Plane Strain*
- Element = 6-Node

*Dimensions* :

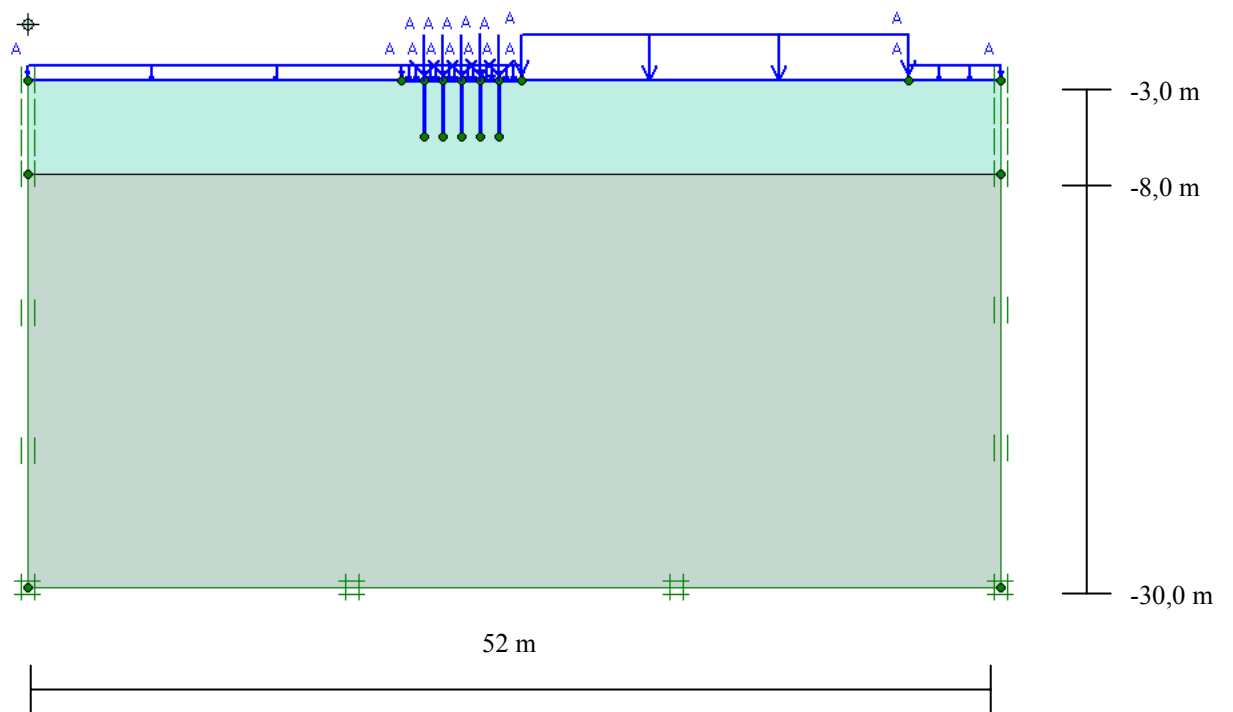
- Length = m
- Force = kN
- Time = day
- Left = 0.00 m
- Right = 52.00 m
- Bottom = -30.00 m
- Top = 0.00 m
- Spacing = 0.25 m
- No.of intervals = 1

Untuk menyetujuinya, klik OK.

- b.

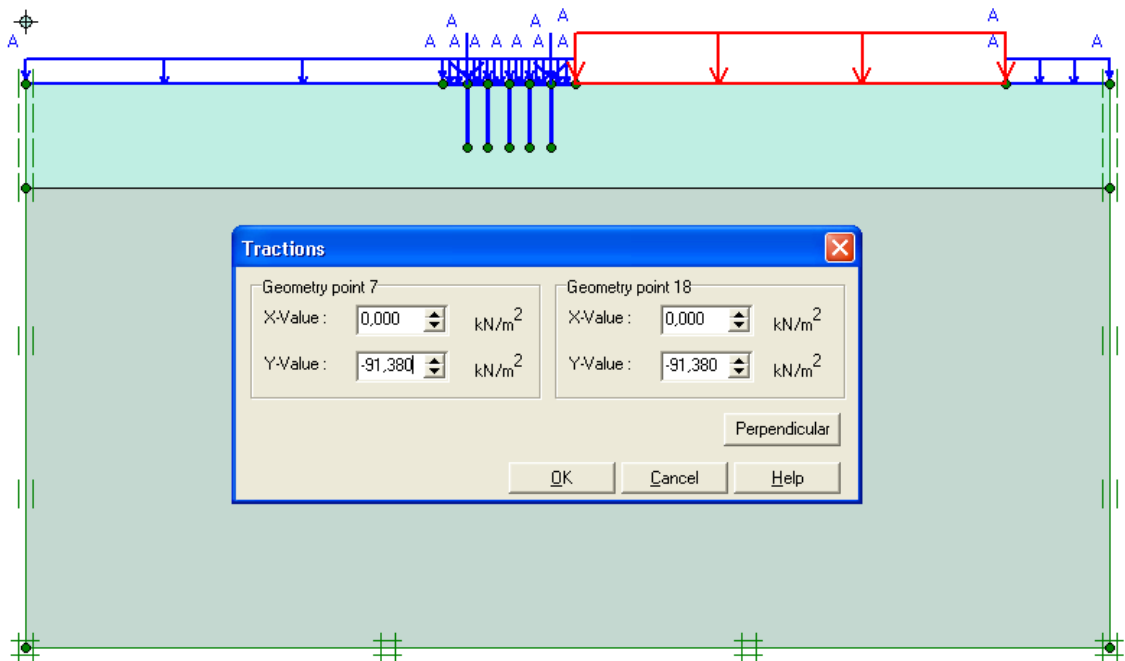


Kondisi batas ( *Boundary Conditions* ) : klik tombol *Standart Fixities* pada toolbar, pada bagian dasar ( *Full Fixities* ) sedangkan sisi vertikal ( *Roller Fixities* ).



**Gambar 2.20.** Penggambaran lapisan tanah, pondasi, pemberian beban dan *standart fixities*

- c. Memasukkan data *material properties* untuk jenis tanah dan pondasi rakit + *mini pile*. Data tanah dari tabel diatas kemudian dimasukkan ke Toolbar pada jendela *Material Sets*, kemudian pada menu *Set Type* pilih *Soil & Interfaces*. Selanjutnya klik *New* untuk memasukkan data tanah, kemudian *Drag* ( tekan dan geser ) dan tempatkan pada area / *cluster* sesuai dengan kedalamannya.
- d. Memasukkan data *material properties* untuk plat pondasi rakit (*raft footing*) dan *mini piles*.
- e. Memasukkan beban vertikal atau beban bangunan  
Beban vertikal yang merupakan beban bangunan ialah beban merata dan beban terpusat yang bekerja pada pondasi.



**Gambar 2.21.** Perletakan beban bangunan

- f. Memasukkan *Mesh Generation*


Setelah semua data mengenai tanah (*Soil & Interface*) dan data mengenai pondasi (*Beams*) sudah dimasukkan dalam *input*, langkah selanjutnya klik tombol *Generate Mesh* untuk menunjukkan hasil *Finite Element Mesh* terjadi pada konstruksi. Kemudian klik *Initial Condition* untuk menunjukkan *Phreatic Line*.

- h. Memasukkan garis muka air tanah / *Phreatic Line*

Garis muka air tanah berfungsi untuk menunjukkan dimana muka air tanah yang ada di lapangan. Pada proyek ini muka air tanah berada pada kedalaman 8 m dan ditunjukan menu pada toolbar *Phreatic Line*.

- i.  Klik tombol *Generate Water Pressure* (warna biru) pada *toolbar*.

Beberapa detik kemudian akan muncul jendela baru : *Water Pressure Generate*. Pilihlah *Phreatic Line* lalu klik OK. Sesaat kemudian muncul jendela *Output: ViewPore Pressures*. Klik tombol *Update*.

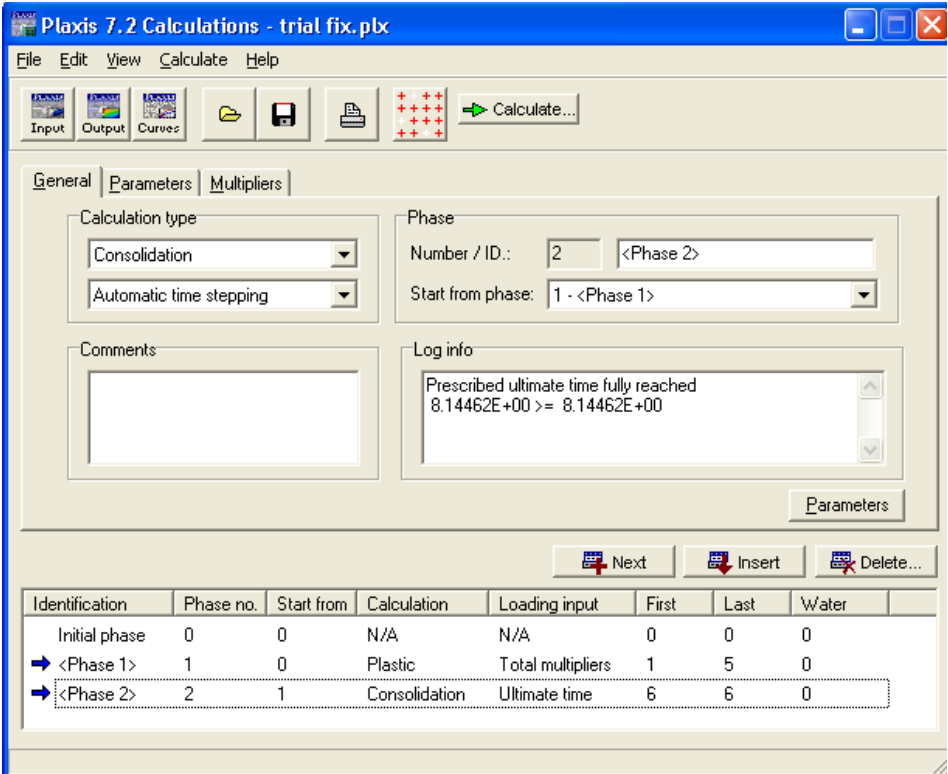
- j.  Klik tombol *Initial Pressure* dan *Geometry Configuration* pada *toolbar*. Perhatikan lapisan tanah berubah warna lagi menjadi hijau. Selanjutnya seleksilah pondasi untuk menonaktifkannya.



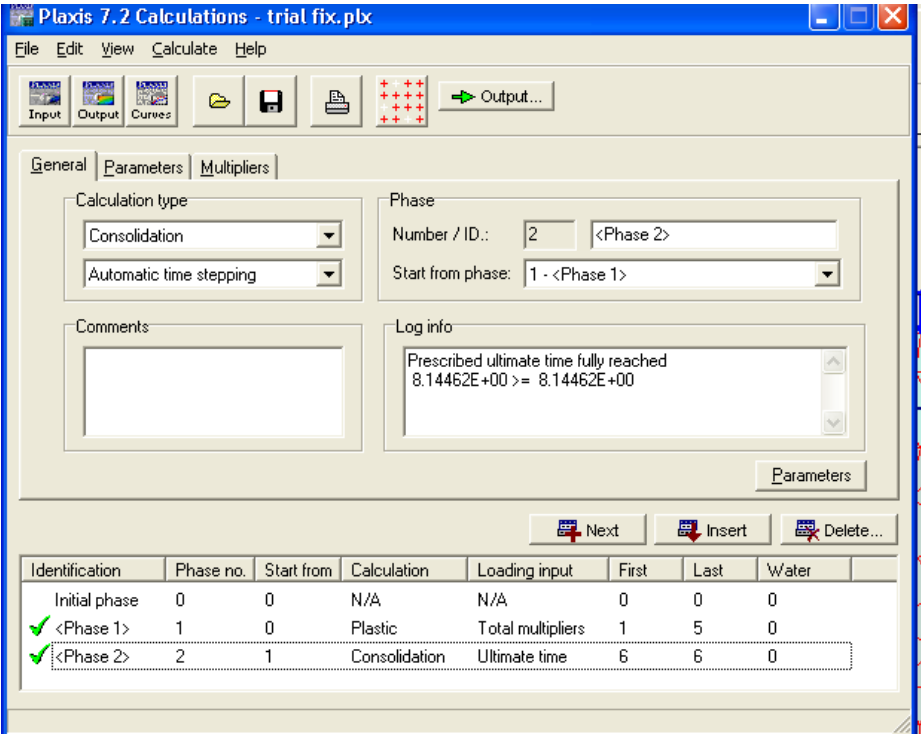
Perhatikan perubahan warnanya menjadi abu-abu yang menandakan lapisan tanah dalam kondisi sedang tidak aktif. Pastikan cluster dalam keadaan aktif (berwarna hijau).  
Klik tombol Generate klik tombol *Generate Initial Stresses* pada toolbar. Letak dialog akan muncul, biarkan  $\Sigma M_{weight} = 1,00$  dan juga data KO lainnya. Klik tombol OK. Kemudian muncul *View Initial Soil Stresses*. Lalu klik *Update*.

1. *Calculations*

Jenis perhitungan yang digunakan ada 2 macam yaitu *plastic* dan *consolidation*. Untuk *loading input* pada parameter dari tipe *plastic* adalah *total multipliers* dan kemudian memberikan nilai 1 pada  $\Sigma M_{load A}$ ,  $\Sigma M_{load B}$  dan  $\Sigma M_{weight}$  pada *multiplier sheet* sedangkan untuk *loading input* pada parameter dari tipe *consolidation* adalah *ultimate time*.  
Setelah tahap-tahap konstruksi tersusun, langkah selanjutnya adalah memilih tombol *Calculate* yang fungsinya untuk meRUN data sehingga diperoleh *output*.

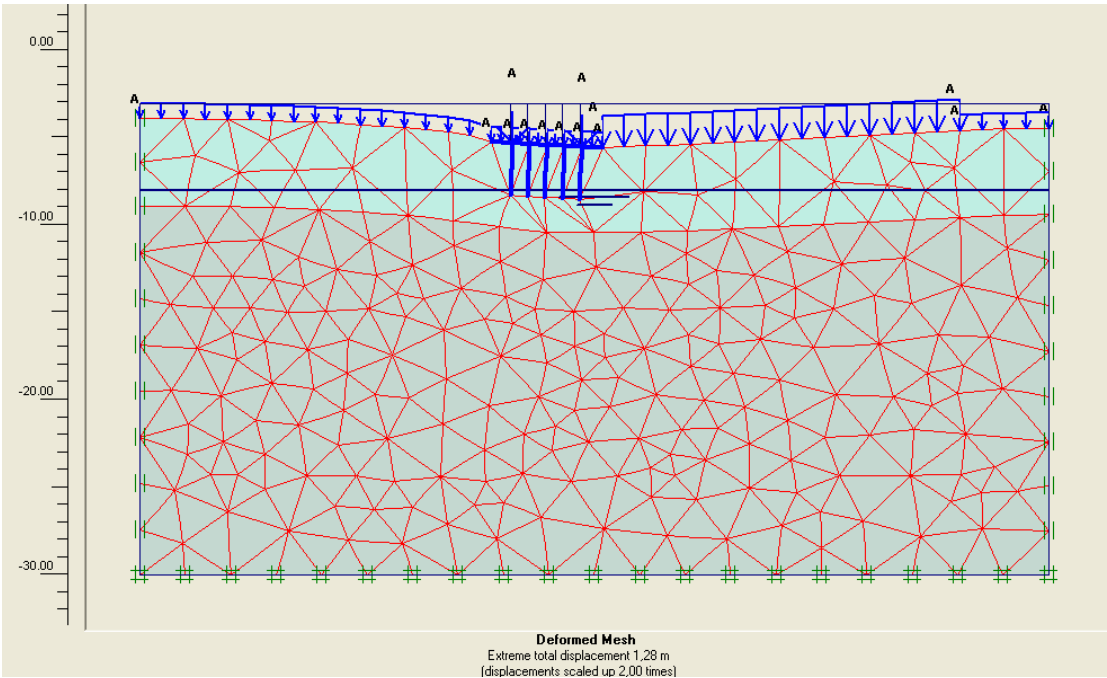


Gambar 2.22. Tahapan kalkulasi

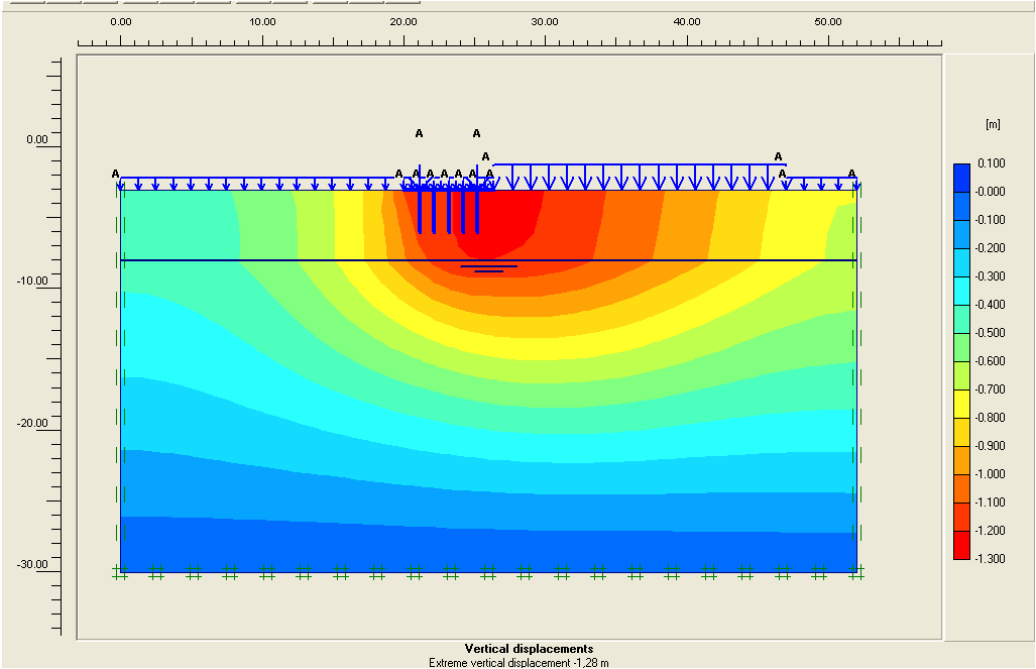


Gambar 2.23. Hasil kalkulasi

m. Setelah proses *run* data selesai maka dapat dilihat hasil output dengan memilih tombol *output* yang berada di sebelah kanan.



Gambar 2.24. Output extreme total displacement



Gambar 2.25. Output vertical displacement

- n. Langkah terakhir dari program PLAXIS adalah *curve program*. Untuk membuat kurva pilih tombol *curve*. Kemudian untuk membuat kurva hubungan antara penurunan dan beban, pilih *displacement* untuk *X-axis* dan pilih *multiplier* untuk *Y-axis* selanjutnya pilih titik referensi. Berikut ini adalah tampilan dari *settlement curve program*.



Gambar 2.26. Settlement curve